

SİVRİHİSAR KUZEY DOĞUSUNDAKİ (MÜLK-DEMİRCİ) NEOJEN YAŞLI VOLKANİKLERDE KİL MİNERALLEŞMESİ

Zehra KARAKAŞ*, Baki VAROL* ve Sonay BOYRAZ*

ÖZ.- Mülk-Demirci yöresinde (KD Sivrihisar) yer alan Neojen yaşlı gösel birimler; kırıntılı-evaporitik çökeller ile volkanik ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Miyosen yaşlı volkanik kayalar; bazalt ve andezit karakterli lav akmaları; piroklastikler ise aglomera, tuf, bozuşmuş tuf, tüfitik kumtaşları olup; ayrıca, bozuşma ürünü kıltaşı ara seviyeleri içerirler. Bu volkanik birimler üste doğru dolomit, dolomitik kireçtaşı, marn ve jipsli birimlere geçişlidirler. Tüflerdeki demiroksitleşme, limonitleşme, karbonatlaşma ve killeşme gibi bozuşma zonları sarı, kırmızı renkleri ile sahada tanınırlar. İnceleme alanındaki piroklastik ve volkanik birimlerin bozuşması sonucu oluşan egemen kil minerali simektittir. Bazı örneklerde simektit mineraline feldspat başta olmak üzere dolomit, kalsit, opal-CT, kuvars ve yer yer de illit, analsim ve jips mineralleri eşlik etmektedir. SEM incelemelerinde simektit minerali petek dokusu şeklinde çok iyi gelişmiş levhamsı yapraklardan oluşan morfolojisiyle tanımlanmıştır. Ayrıca simektit mineralleşmesinin genellikle volkan camlarının erime boşlukları ile kırık ve çatlakları boyunca veya feldspat minerallerinin üzerinde geliştiği SEM görüntülerinde açıkça izlenmiştir. Saha ve laboratuvar verilerine göre simektit mineralinin oluşumu, tüflü birimlerin ana bileşenini teşkil eden volkan camları ile feldspat mineralinin varlığı ile kontrol edilmiştir. Sıcak ve kurak bir iklim koşullarında göl suyu içerisindeki volkanik malzemenin bozuşması simektit oluşumunda önemli rol oynamıştır. Simektit oluşumu volkan camlarının hidrolizi ve feldspat mineralinin bozuşması şeklinde gelişmiştir.

Anahtar kelimeler: Kil mineralleşmesi, Neojen, paleoklim, piroklastik, simektit, Sivrihisar, volkanik.

GİRİŞ

İnceleme alanı, Orta Anadolu'da Sivrihisar'ın yaklaşık 25 km. doğusunda bulunan Mülk ve Demirci köyleri civarında (Ankara İ27 c4, d3 paftaları) yer almaktadır (Şekil 1). İnceleme alanının yakın çevresinde sepiyolit yataklarının bulunması nedeniyle çalışmalar daha çok bölgedeki sepiyolit oluşumları üzerine yoğunlaşmıştır (Bilgin, 1972; Kulaksız, 1981; Ece ve Çoban, 1990; Karakaş, 1992; Gençoğlu ve diğerleri, 1992; Yeniyol, 1992, 1993; Çoban, 1993; Bellance ve diğerleri, 1993; Karakaş ve Varol, 1993, 1994; Gençoğlu ve İrkeç, 1994; Ünlü ve diğerleri, 1995; Gençoğlu, 1996). Bölgedeki Neojen yaşlı birimler ve temel kayaların jeolojisine yönelik çalışmalar Weingart (1954), Erol (1955), Brellie (1956), Umut ve diğerleri, (1991) ile Gözler ve diğerleri, (1996) tarafından yapılmıştır. Özbaş (2001) Mülk-Oğlakçı bölgesindeki zeolit mineralleşmesi ve bununla ilişkili minerallerin mineralojik ve jeo-

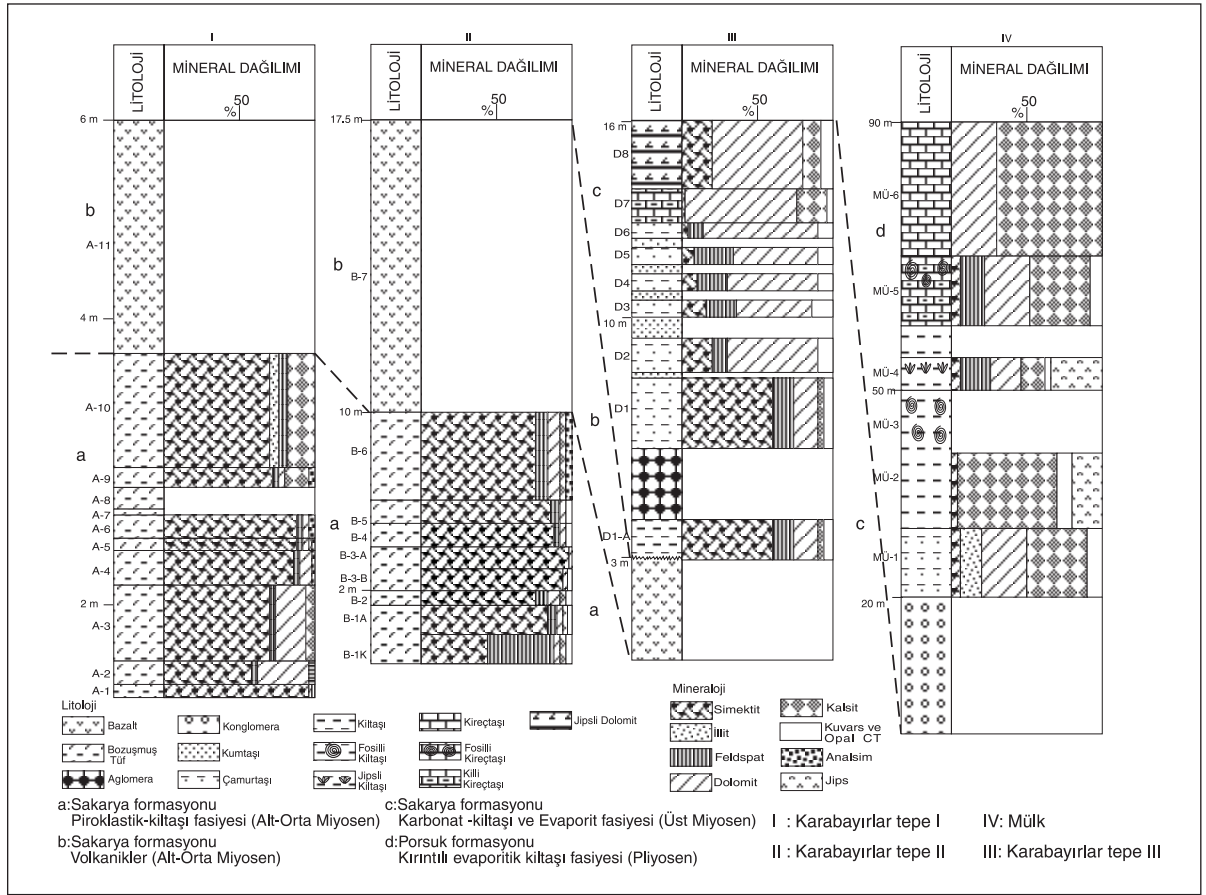
kimyasal özelliklerini araştırmıştır. Temel (2001) ise inceleme bölgesini de içine alan çalışmasında; Oğlakçı bölgesindeki Miyosen yaşlı alkali volkanizmanın jeokimyası ve petrolojisini incelemiştir.

Bu çalışmada, Mülk-Demirci civarındaki Neojen yaşlı volkanik ve piroklastik birimlerdeki kil mineralleşmesinin araştırılması, kil mineralleşmesinin ana kaya ve paleoklim ilişkileri ile oluşum koşullarının ortaya çıkartılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOD

İnceleme alanındaki volkanik, piroklastik ve kırıntılı-evaporitik kayaların yoğun olarak izlendiği alanlardan Karabayırlar Tepe I, II, III ve Mülk olarak isimlendirilen ölçülü stratigrafik kesitler boyunca 35 adet örnek alınmıştır (Şekil 1, 2). Ölçülü kesitlerden alınan örneklerle ek olarak Çakmak Tepe, Çakmakçıkan Tepe, Karabayırlar

* Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Müh. Böl. 06100 Beşevler/Ankara
karakas@eng.ankara.edu.tr, varol@eng.ankara.edu.tr, boyraz@eng.ankara.edu.tr



Şekil 2- İnceleme alanında Sakarya ve Porsuk formasyonlarındaki litoloji ve mineraloji dağılımı.

hazı kullanılarak belirlenmiştir. Bu örneklerin yarı nicel yüzdeleri ise dış standart yöntemi (Brindley, 1980) esas alınarak hesaplanmıştır (Gündoğdu, 1982). Killeşmenin egemen olduğu örneklerin mikromorfolojik özellikleri ve dokusal ilişkileri JEOL 840 A marka taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Ayrıca kil minerallerinin termal davranışları MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi laboratuvarındaki Rigaku Analyzer TAS 100 cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

JEOLOJİ

Sivrihisar Neojen havzasının temel kayaları Paleozoyik yaşlı şist, gnays ve mermer ile temsil edilen metamorfik kayalar ile Mesozoyik yaşlı

ofiyolitik kompleks, granit ve granodiyoritlerden oluşmaktadır (Kibar ve diğerleri, 1992; Gözler ve diğerleri, 1996). Temel kayalara ait mostralar inceleme alanının dışında, Sivrihisar ilçesinin kuzeydoğusundaki Sazak ve Baharöz köyleri civarında bulunur. Bölgede geniş bir yayılıma sahip olan Neojen yaşlı birimler, temel kayalar üzerine uyumsuzdurlar. İnceleme alanının yakın çevresinde daha önce yapılan jeolojik ve endüstriyel ham madde amaçlı çalışmalarda Neojen yaşlı birimler çeşitli araştırmacılar tarafından farklı formasyon adlamaları altında incelenmiştir. Gençoğlu ve İrkeç (1994) gölsel birimleri İlyaspaşa (Miyosen) ve Sakarya (Pliyosen) formasyonu olarak tanımlarken, aynı birimleri Gözler ve diğerleri, (1996) Porsuk (Miyosen) ve Hüyükü (Pliyosen) formasyonu olarak adlandırmış-

lardır. İnceleme alanındaki gösel birimler bu çalışmada Miyosen yaşlı Sakarya ve Pliyosen yaşlı Porsuk formasyonu olarak tanımlanmıştır (Boyras, 2004) (Şekil 1, 2). Sakarya formasyonuna ait haritalanabilir litofasiyesler alttan üstte doğru; piroklastik-arakatlı kıltaşı, volkanikler, karbonat-kıltaşı, evaporit fasiyesleri şeklinde sıralanmıştır. Piroklastik arakatlı kıltaşı fasiyesi; aglomera, tuf, bozuşmuş tuf, tüfitik kumtaşı ile temsil edilir. Sahada çoğunlukla alacalı renklerde izlenmekte olan tuf düzeyleri ile bozuşma ürünü kıltaşı seviyeleri birbirleriyle birkaç kez aralanmalı olarak bulunur (Şekil 3a, b). Tüflerde killeşmenin yanı sıra demiroksitleşme, limonitleşme, karbonatlaşma gibi bozuşma türleri izlenir (Şekil 3c). Bunlar sahada sarı, kırmızı, yeşilimsi sarı ve yeşil renkli zonlar şeklinde tanımlanır. Piroklastik arakatlı kıltaşı fasiyesini üzerleyen volkanikler; bazalt ve andezit karakterli lav akmaları şeklinde izlenmektedir (Şekil 1, 2, 3a). Bazaltlar porfiroafanitik dokulu ve yer yer gaz boşluklu olarak gözlenirken, andezitler açık pembe, bej renkli, oldukça sert yapılı ve afanitik dokuya sahiptirler. Sahada kısmen veya tamamen bozuşmuş olan bazalt ve andezitler sarı, kırmızı, kızılkahverenkli bir görünüm sunmaları ile tipiktirler. Bölgedeki volkanikler K-G yönlü sıkışma rejimi ve bunun takibinde genişleme tektoniğinin yarattığı D-B doğrultulu fay sistemleri boyunca yüzeylenmiştir (Temel, 2001; Özen ve Sarıfakıoğlu, 2003). İnceleme alanındaki bazalt ve andezitler üzerinde Temel (2001) tarafından yapılan radyometrik yaş tayinlerinde (14-18 milyon yıl) volkaniklerin yaşı Erken-Orta Miyosen olarak bulunmuştur. Bu volkanik kayaçların üzerinde çok düşük açılı uyumsuzlukla yer alan ve alttan üstte doğru dolomit, dolomitik kireçtaşı, çamurtaşı ve jipsli birimler ile temsil edilen karbonat-kıltaşı ve evaporit fasiyesleri bulunur (Şekil 1, 2, 4). Bu fasiyeslerdeki killi, marnlı ve organik maddece zengin olan birimlerde Geç Miyosen'i işaretleyen Gastropod fosillerinden *Planorbarius* sp., *Lymnaea* sp., *Helix mrazeci* Sévastos, 1922, *Abida* sp., *Mostus* sp. türleri belirlenmiştir (Taner, 2004). Radyometrik ve paleontolojik yaşlandırma çalışmaları sonucunda elde edilen verilere göre Sakarya formasyonunun yaşı Miyosen olarak tanımlanmıştır.

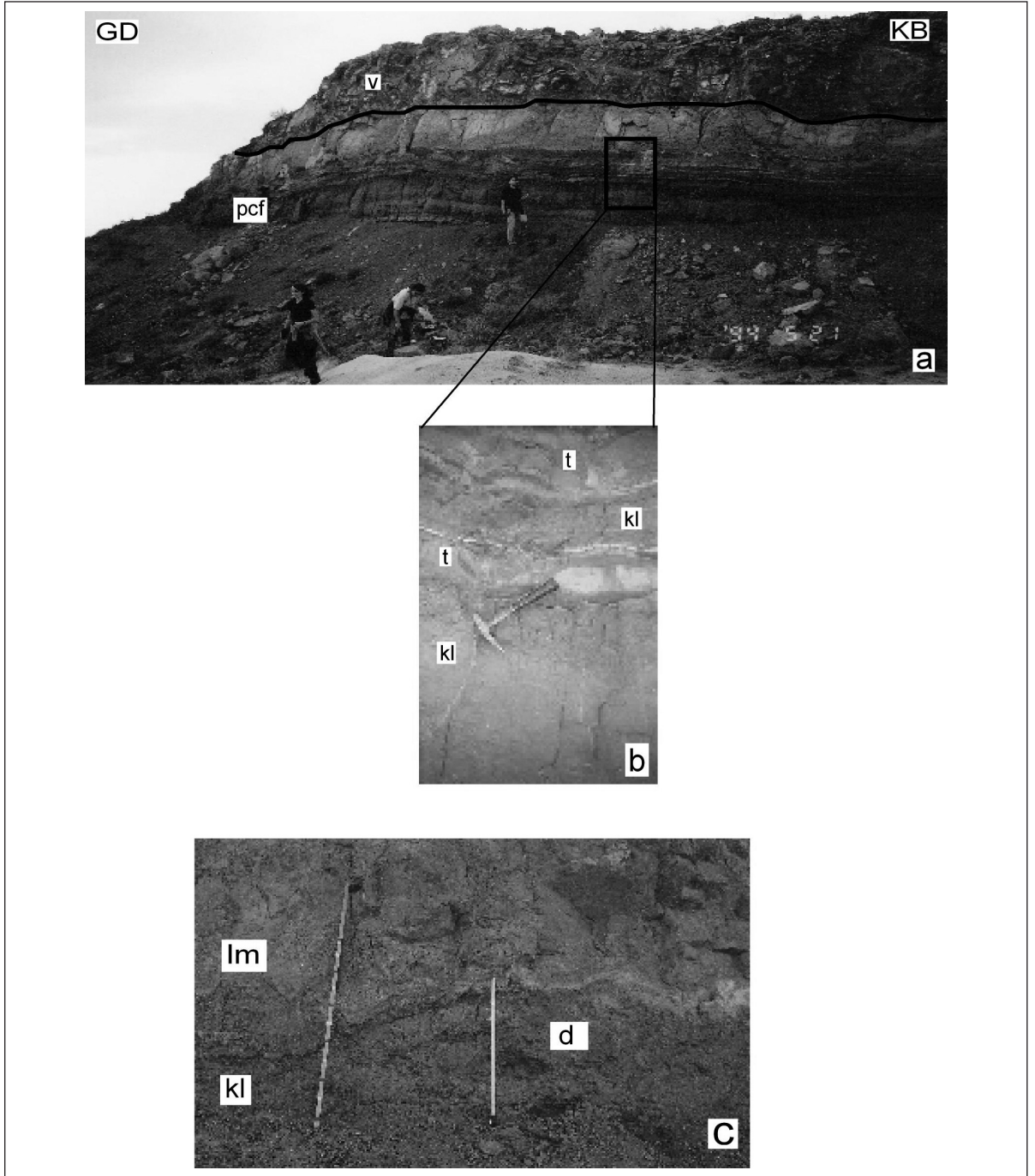
Sakarya formasyonu üzerine düşük açılı uyumsuzlukla Pliyosen yaşlı Porsuk formasyonunun kırıntılı-evaporitik kıltaşı fasiyesi yer alır (Şekil 1). Bu fasiyes kırmızı ve gri renkli konglomera-kumtaşı, gri ve yeşil renkli kıltaşı, jips, jipsli çamurtaşı, dolomit, dolomitik kıltaşı ve kireçtaşından oluşan bir depolanma paketinin birkaç kez tekrarlanmasından oluşmuştur (Şekil 1, 2). Yeşil renkli kıltaşı ve marn birimlerinde Gastropod türlerinden *Valvata crusitensis* (Fontannes, 1886), *Gyraulus* (G.) *ignoratus* Schickum-Puissegur, 1977, *Emmericia rumana* Tournouér, 1880 tanımlanmış olup, Porsuk formasyonunun yaşı Geç Pliyosen (Romaniyen) olarak belirlenmiştir (Taner, 2004). Ayrıca, bu birimlerde ostrakod fosillerinden Pliyosen-Erken Pleyistosen yaşını veren *Ilyocypris* sp., *Potamocypris similis* (Müller, 1894), *Pseudocandona* cf. *compressa* (Koch, 1837), *Hemicyprideis dacica grekoffi* Carbonnel, 1971, *Cyprideis* cf. *torosa* (Jones, 1850), *Candona neglecta* Sars, 1888, *Candona* sp. tayin edilmiştir. Bununla birlikte, kahverenkli killi, marnlı ve organik maddece zengin olan birimlerde marn ve kıltaşlarında yapılan spor/polen yaş tayini çalışmalarında Geç Pliyosen yaşını veren spor ve polen biyozon toplulukları saptanmıştır. Bunlar Tubuliflorae ve Liguliflorae tipleridir (Batı, 2004). Ayrıca bu yaşlandırma *Testudo* sp., *Micromys* sp., *Occitatomys* sp., *Prolagus* sp. ve *Promimomys* sp. gibi mikro/makro memeli topluluklarıncada da test edilip doğrulanmıştır (Saraç, 2004).

Neojen yaşlı gösel birimler üzerinde uyumsuz olarak bulunan Kuvaterner yaşlı birimler kırmızı-kahverenkli çakıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı ve alüvyon ile temsil edilir.

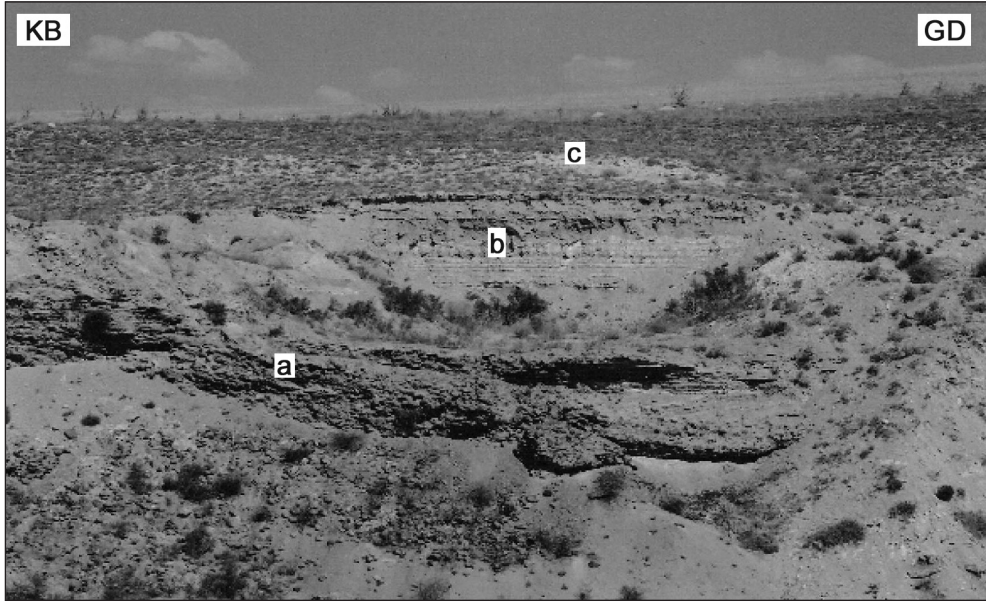
PETROGRAFI

İnceleme alanındaki piroklastik ve volkanik kayaçlar polarizan mikroskop incelemelerindeki mineralojik bileşimleri ve dokusal özelliklerine göre tuf, bazalt ve andezit olarak adlandırılmıştır.

Piroklastik kayaçların egemen litoloji topluluğunu oluşturan tüfler mineralojik olarak içerdikleri



Şekil 3- a. Karabayırlar Tepe'de piroklastik-arakatlı kıltaşı fasiyesi (pcf) ile volkanitlerin (v) yanal ve dikey ilişkisi.
b. Alacalı renkli bozmuş tüf (t) düzeyleri ile bozuma ürünü kıltaşı (kl) ara seviyelerinin ardalanımlı diziliminin yakından görünümü.
c. Piroklastik-arakatlı kıltaşı fasiyesindeki killeşme (kl), limonitleşme (lm) ve demiroksitleşmeler (d).

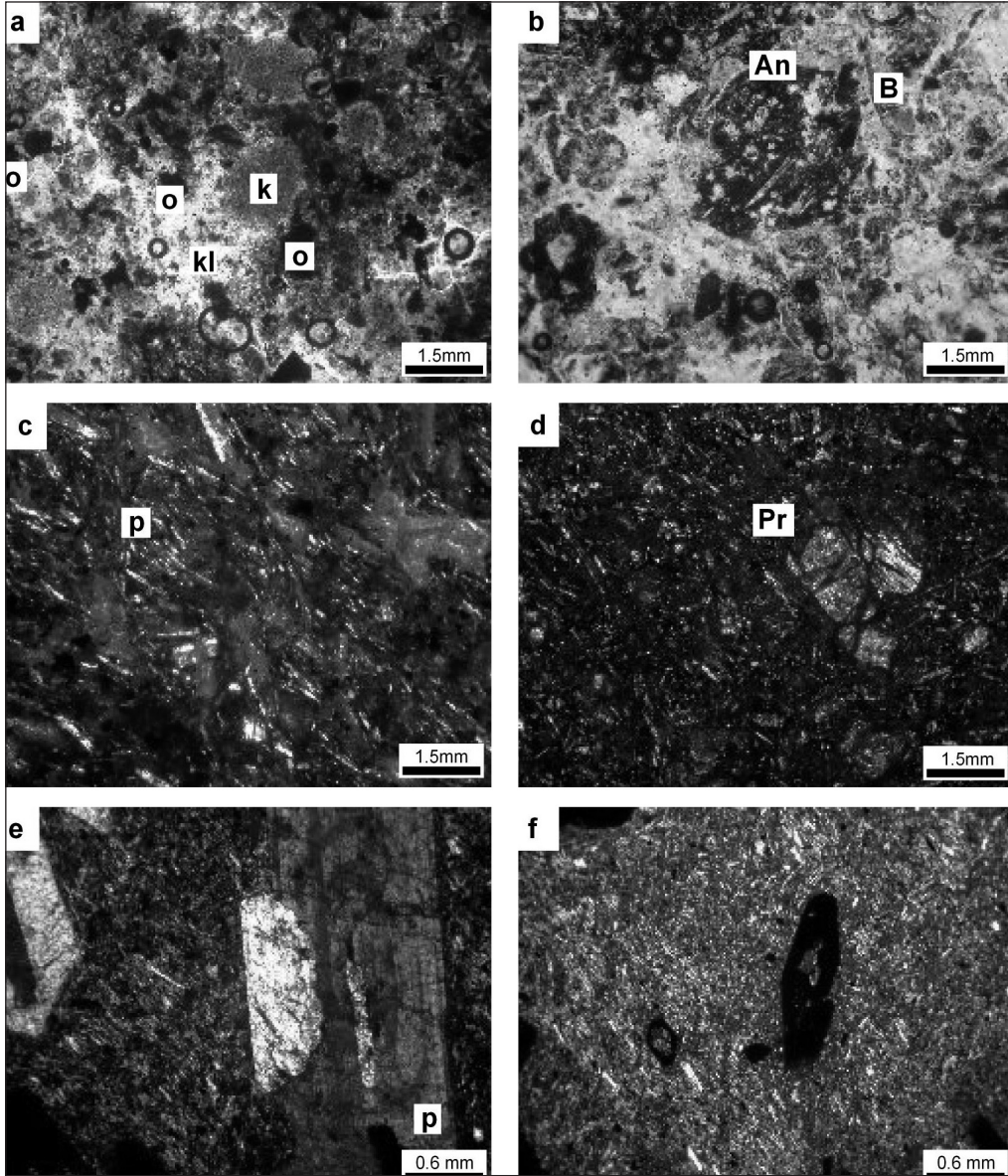


Şekil 4- Karabayırlar Tepe'de piroklastik-arakatkılı kiltası (a) fasiyesi ile karbonat-kiltası (b) ve evaporit (c) fasiyeslerinin geçişi.

kayaç parçası, volkan camı ve kristal miktarına göre vitrik, litik ve kristal tuf olarak üçe ayrılarak incelenmiştir. Vitrik tüfler, tamamen volkan camından oluşmuştur. Genellikle parçalanmış ve kısmen yuvarlaklaşmış taneler şeklinde izlenen volkan camlarında yer yer killeşme ve karbonatlaşma gibi bozuşma ürünleri belirlenmiştir (Şekil 5a). Volkan camı içerisinde çok az miktarda opak mineral gözlenmiştir. Vitrik tuf inceleme alanında Karabayırlar Tepe'de (ÖSK I ve II) oldukça yoğun olarak izlenmiştir (Şekil 1, 2). Litik tüfler; volkanik kayaç parçaları (andezit) ile kısmen kuvars ve biyotit fenokristallerinden oluşmuştur (Şekil 5b). Litik tüfler de, Karabayırlar Tepe (ÖSK I ve II) bölgesinde gözlenmiştir (Şekil 1, 2). Kristal tüfler, plajiyoklaz, biyotit, hornblend ve kuvars fenokristalleri ile volkan camından oluşmuştur. Kristal tüflerde izlenen akma dokusu yönlenmiş plajiyoklaz mikrokristalleri ile belirgin olup, biyotit ve hornblend mineralleri kısmen veya tamamen opaklaşmıştır (Şekil 5c). Kristal tüfler, vitrik ve litik tüfler gibi Karabayırlar Tepe'de (ÖSK I ve II) izlenmiştir (Şekil 1, 2).

İnceleme alanındaki volkanik kayaçlardan bazaltlar, hipokristalin porfirik bir dokuya sahiptir. Ayrıca, gaz boşluklarının ikincil kuvars kristalleri ile dolmasıyla oluşan amigdaloidal doku da izlenmiştir. Kayaç başlıca plajiyoklaz ve piroksen fenokristalleri ile mikrolit ve kristalitlerden oluşmuştur (Şekil 5d). Labrador türündeki plajiyoklaz mineralinde killeşme, karbonatlaşma ve demir-oksitleşme şeklinde bozuşmalar belirlenmiştir. Piroksen fenokristallerinin büyük bir bölümü iddingsitleşmiş ve biraraya gelerek glomeroporfirik dokuyu oluşturmuşlardır. Bazaltlar inceleme alanında Karabayırlar Tepe (ÖSK I ve II), Çakmak Tepe ve Çakmakçıkan Tepe civarında gözlenmiştir (Şekil 1, 2).

Andezitler plajiyoklaz (andezin), hornblend ve biyotit mineral bileşimine sahip olup, trakitik bir doku sunarlar. Plajiyoklaz minerali yarı özşekilli olup, genellikle zonlu bir doku sunmaktadır (Şekil 5e). Ayrıca, hornblend ve biyotit minerallerinin opaklaştığı izlenmiştir (Şekil 5f). İnceleme alanında Asarkale civarında tipik mostraları bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 5- Piroklastik ve volkanik kayaçların optik mikroskop görüntüleri:

- a- Vitrik tüflerde volkan camında oluşan killeşme (kl), karbonatlaşma (k) ile opak (o) mineraller (çift nikol, A-4 no'lu örnek),
- b- Litik tüflerdeki andezit (An) kayaç parçası ile biyotit (B) fenokristali (tek nikol, A-5 no'lu örnek),
- c- Kristal tüflerde izlenen akma dokusu ile yönelmiş plajiyoklaz mikrolitleri (p) (çift nikol, A-9 no'lu örnek),
- d- Bazaltlarda kenar ve kırıkları boyunca iddingsitleşme gösteren piroksen (pr) fenokristalleri ile plajiyoklaz mikrolitleri (çift nikol, Ç-2 no'lu örnek),
- e- Andezitlerde yarı özşekilli ve zonlu dokulu plajiyoklaz (p) fenokristali (çift nikol, A-1 no'lu örnek),
- f- Andezitte opaklaşmış hornblend minerali (çift nikol, A-2 no'lu örnek).

XRD İNCELEMELERİ

İnceleme alanındaki piroklastik ve volkanik kayaçların bozuşmasına bağlı olarak oluşan kil mineralleri ve kil minerallerinin ana kaya ile olan ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla bu birimleri temsil eden taze örnekler ile değişik oranlarda bozuşmaya uğramış örnekler XRD analizi ile incelenmiştir.

İnceleme alanında volkanik ve piroklastik birimlerin kil fraksiyonu incelemelerinde egemen kil minerali simektit olup, birkaç örnekte illit mineralinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 2, 6a). Simektit mineralinin örneklerdeki bulunma oranı volkanik ve piroklastik kayaçların bozuşma şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Bozunmanın yoğun olarak izlendiği örneklerde simektit minerali çoğunlukla ana (%90-%100) kil minerali olarak bulunmaktadır (Şekil 2, 6a). Buna karşın, bozunmanın nisbeten daha az olduğu örneklerin tüm kayaç çözümlerinde ise simektit mineralinin %40 ile %70 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 2, 6b, c). Simektit mineraline tüm kayaç incelemelerinde feldspat, dolomit, kalsit, opal-CT, kuvars mineralleri ile bazı örneklerde illit, analsim ve jips eşlik etmektedir (Şekil 2, 6a, b, c). Simektitler, tüm kayaç analizlerinde (001) yansıma yüzeyine ait $15.12\text{ A}^\circ - 15.93\text{ A}^\circ$ daki en şiddetli piki ile tayin edilmiştir (Şekil 6a, b, c). Bununla birlikte daha yüksek 2 değerleri yönünde 5.06 A° , 4.49 A° , 2.56 A° daki piklerde simektit mineralinin tanınmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca, ilk bazal refleksiyon olan (001) pikinin şiddetli, dar ve simetrik oluşundan bu mineralin iyi kristalize olduğu anlaşılmaktadır. Simektit minerali $14.76\text{ A}^\circ - 15.93\text{ A}^\circ$ (001) olan yansıma değerlerine göre Ca tipi simektit olarak belirlenmiştir (Moore ve Reynolds, 1989) (Şekil 6a, b, c, 7).

Tüm kayaç incelemelerinde simektit mineraline eşlik eden feldspat $3.18\text{ A}^\circ - 3.20\text{ A}^\circ$ ve 3.22 A° , dolomit 2.89 A° , kalsit 3.04 A° , kuvars 3.34 A° , analsim 3.43 A° daki pikleri ile tanınmıştır (Şekil 6a, b, c). Kil boyu bileşen olarak yalnızca simektit minerali içeren ve değişik oranlarda bozunmaya uğrayan örneklerin tüm kayaç

çözümlerinde simektit minerali ile feldspat minerali arasında oransal ters bir ilişki gözlenmiştir (Şekil 2). Özellikle, bozunmanın yoğun olduğu ve simektit mineralince zengin örneklerde feldspat mineralinin miktarında bir azalma olurken, bozunmanın ve simektit mineralinin miktarının azaldığı örneklerde ise feldspat mineralinde oransal olarak bir artış izlenmiştir (Şekil 2, 6a, b, c).

Etilen glikol ile muamele edilen simektit mineralinin (001) yansıması 16.67 A° 'a doğru kaymıştır (Şekil 7). Simektit, $350\text{ }^\circ\text{C}$ ve $550\text{ }^\circ\text{C}$ ' de ısıtıldığında ise (001) yansımasının 9.66 A° ile 9.76 A° da olduğu belirlenmiştir.

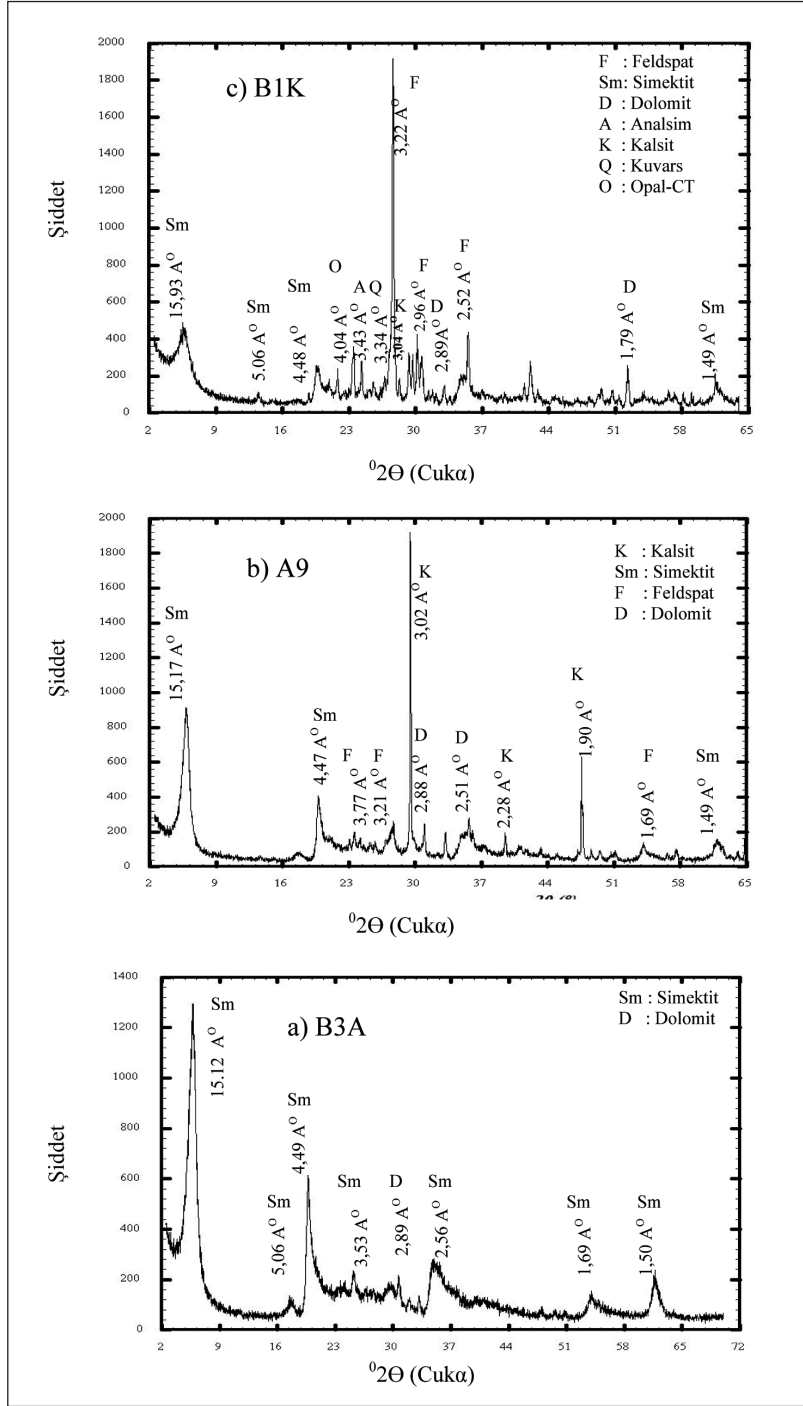
Tüm kayaç örneklerinin X-Ray difraktogramlarında zeminin $2\theta = 15\text{ A}^\circ$ dan itibaren yükselmesi amorf karakterli volkan camının varlığını belirtmektedir (Jones ve Segnit, 1971).

DTA İNCELEMELERİ

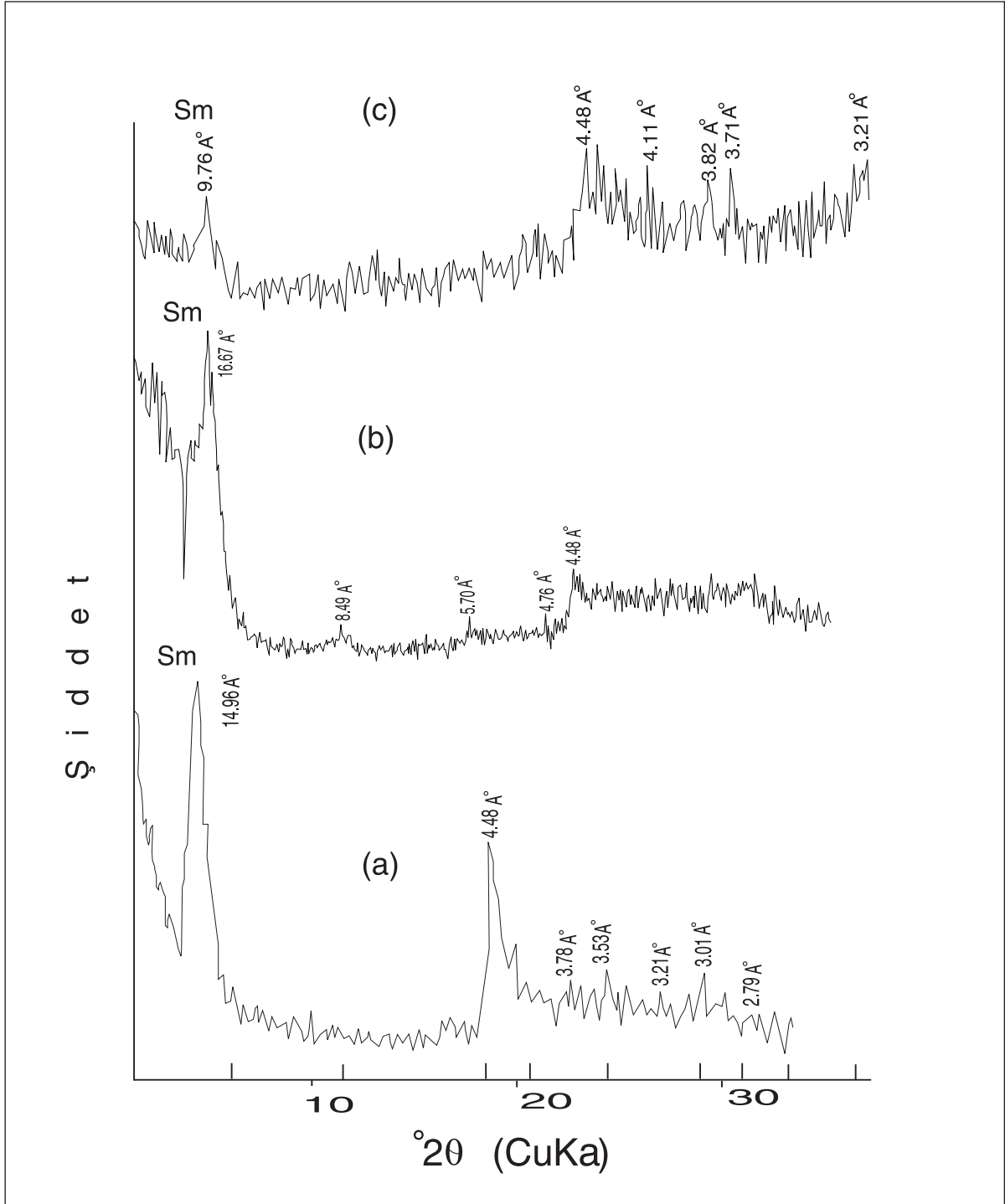
İnceleme alanında X-ışınları analizi sonucunda simektit olarak tanımlanan B3A no' lu örneğin termal özellikleri, faz dönüşümleri DTA-TG analizi ile incelenmiştir. Simektit mineralinin DTA analizinde ilk şiddetli endotermik pik $148.2\text{ }^\circ\text{C}$ civarında gözlenmiştir (Şekil 8). Ayrıca, bu pikten hemen sonra $220\text{ }^\circ\text{C}$ dolayında oluşan ikinci küçük endotermik pikin varlığı özellikle Ca-simektit için tipik bir özellik olarak verilmektedir (Özkan ve Erkalpa, 1977). Bununla birlikte, $653.4\text{ }^\circ\text{C}$ ve $873.1\text{ }^\circ\text{C}$ ' de iki endotermik pik daha mevcuttur. Elde edilen endotermik pik sıcaklıkları dioktaedrik simektitlere uygundur (Paterson ve Swaffield, 1987). İlk iki endotermik pik simektitin yapısındaki nem kaybı, üçüncüsü ise tabakalararası suyun kaybı nedeni ile gerçekleşmiştir. İlk iki reaksiyondaki ağırlık kaybı %15.3, üçüncüsünde ise %7.6'dır (Şekil 8). DTA eğrisinde $810.1\text{ }^\circ\text{C}$ dolayında görülen pik simektit mineralinin dışındaki safsızlıklarla ilgilidir.

SEM İNCELEMELERİ

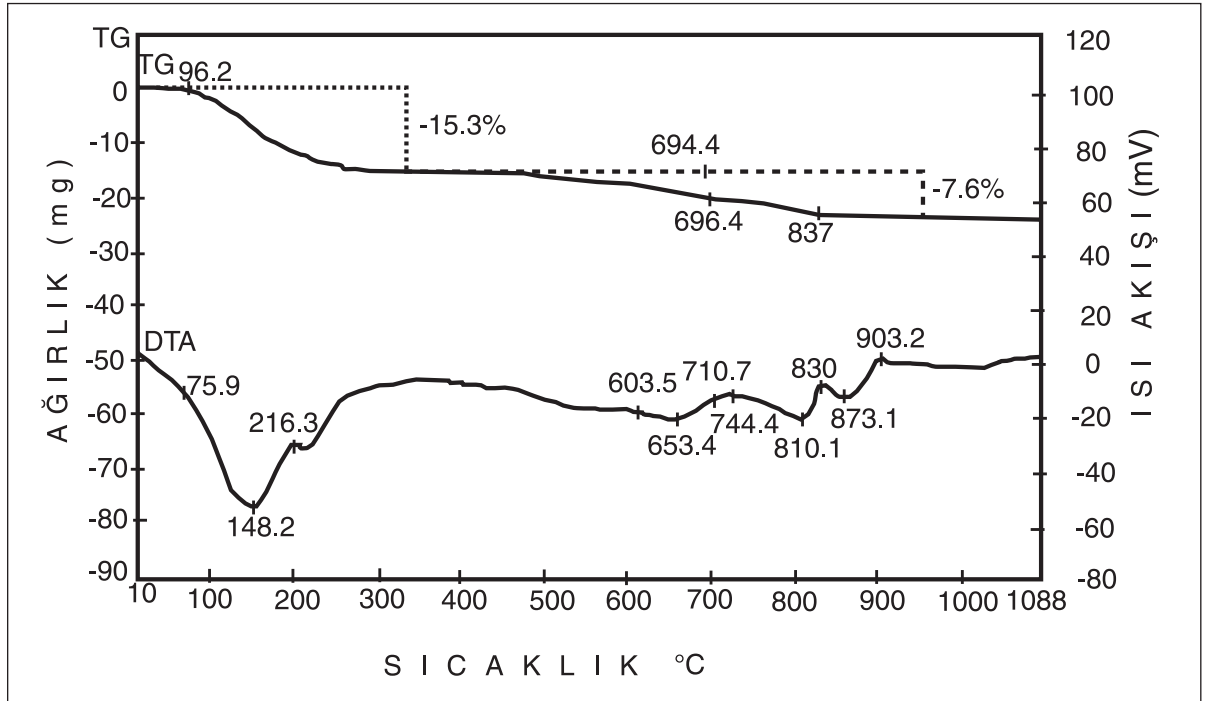
Saha gözlemleri, mikroskopik incelemeler ve XRD analizleriyle değişik şiddette alterasyona



Şekil 6- İnceleme alanındaki değişik oranlarda bozuşmaya uğramış tuf örneklerinin tüm kayaç XRD difraktogramı (a. Bozmuş tuf, B3A no'lu örnek; b. az bozmuş tuf, A9 no'lu örnek; c. kısmen bozmuş tuf, B1k no'lu örnek).



Şekil 7- B3A no'lu safa yakın simektit örneğinin kil fraksiyonu XRD difraktogramı a: normal, b: glikollü, c: fırınlanmış (550 °C).



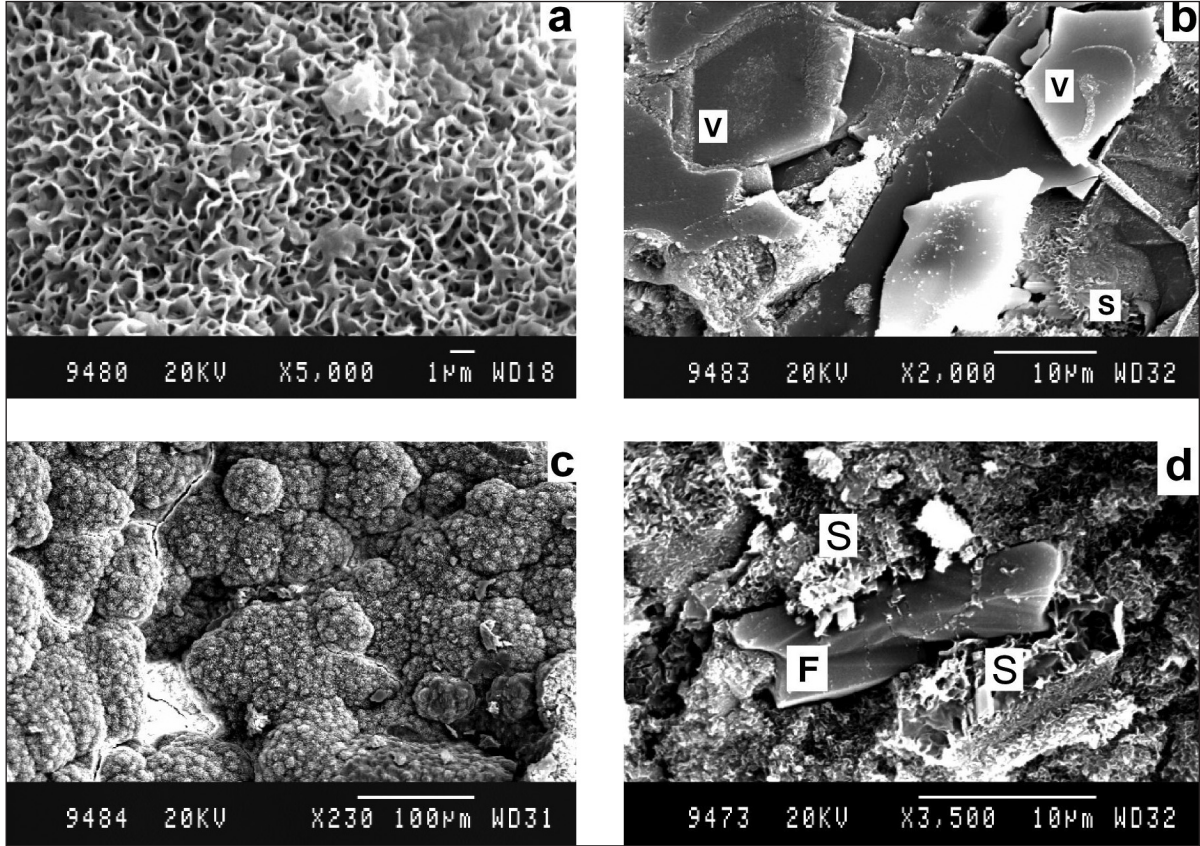
Şekil 8- B3A no'lu safa yakın simektit örneğinin DTA ve TG eğrileri.

uğradıkları belirlenen ve killeşmenin (simektitleşme) egemen olduğu örnekler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

Taramalı elektron mikroskop incelemelerinde simektit mineralinin çok iyi gelişmiş levhamsı yapılı ve peteksi dokulu bir morfolojiye sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 9a). Genellikle simektit minerali volkan camlarının kırık, çatlak ve erime boşluklarında gelişmiştir (Şekil 9b). Peteksi dokulu simektitin, küremsi şekilli opal-CT üzerinde de gelişimleri izlenmiştir (Şekil 9c). Bazı örneklerde simektit mineralinin volkan camının yanı sıra feldispat mineralinin üzerinde ve kenarında geliştiği gözlenmiştir (Şekil 9d). Bu durum, simektitlerin oluşumunda volkan camı ve opal-CT'nin yanı sıra feldispat minerallerinin de etkili olduğunu göstermektedir. Christidis ve diğerleri, (1995), Kadir ve Karakaş (2002), Besbelli ve Varol (2002)'da yapmış oldukları çalışmalarda da simektit oluşumunun volkan camının yanı sıra feldspatlardan itibaren geliştiğini de belirtmişlerdir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

İnceleme alanında geniş bir yayılıma sahip olan Neojen yaşlı gösel birimler Miyosen yaşlı Sakarya formasyonu ve Pliyosen yaşlı Porsuk formasyonu şeklinde tanımlanmıştır (Şekil 1, 2). Sakarya formasyonu aglomera, tüf, bozmuş tüf ve tüfitik kumtaşı birimleri ile temsil edilen piroklastik arakatlı kilaşı fasiyesi ile başlayıp, bazalt-trakiandezit karakterli lav akmaları şeklinde izlenen volkanikler (Alt-Orta Miyosen) ile devam eder. Bu birimler üzerinde karbonat-kilaşı ve evaporit fasiyeslerini oluşturan kilaşı, dolomit, kireçtaşı, çamurtaşı ve jips litolojisinde (Üst Miyosen) devam eden birimler çok düşük açılı uyumsuzlukla bulunur. Bu litolojik topluluğu çok düşük açılı uyumsuzlukla örten Pliyosen yaşlı birimler; konglomera, kumtaşı, kilaşı, çamurtaşı, jips, jipsli çamurtaşı, dolomit, dolomitik kilaşı ve kireçtaşlarının birkaç kez ardalanmasından oluşan bir litoloji topluluğundan oluşur.



Şekil 9- Simektitlerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü

- Levhamsı yapı ve peteksi dokulu simektit minerali (B-1 no'lu örnek)
- Kırıklı levha şekilli volkan camlarının (V) kenar ve yüzeylerinde gelişen simektit minerali (KV-8 no'lu örnek)
- Küremsi şekilli Opal-CT üzerinde izlenen simektit minerali (KV-8 no'lu örnek)
- Feldspat mineralinin (F) çevresinde ve üzerinde gelişen simektit (S) minerali (B-5 no'lu örnek).

Saha ve laboratuvar verilerine göre bölgedeki Neojen (Miyosen ve Pliyosen) yaşlı gölsel birimler; volkanizma, tektonizma ve paleoklim koşullarında gelişen değişik süreçlerde depolanmıştır. Bu nedenle, inceleme alanında birbirleriyle yanal ve dikey yönde geçişler gösteren farklı fasiyelerin çökelişi gerçekleşmiştir. Bölgede Erken-Orta Miyosen'de volkanik aktivite başlamıştır (Temel, 2001; Özen ve Sarıfakioğlu, 2003). Volkanizmanın etkili olduğu ilk depolanma döneminde evaporitler açısından fakir olan gölsel sedimanlar, üstte doğru kurak ve yarı kurak iklim koşullarında artan buharlaşma etkisi ile dolomit-

evaporit depolanması şeklinde bir değişime uğramıştır. Sakarya formasyonundaki volkanik ve piroklastik birimleri oluşturan tüf ve bazaltların bozuşma zonlarında egemen kil mineralinin simektit olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanındaki simektit mineralinin oluşumunda tüm kayaç mineral birlikteliği ile dokusal özellikleri dikkate alındığında volkanik kül ve tüfün bozuşması sonucu oluştuğunu işaretler (Grim ve Güven, 1978). Özellikle simektit mineralinin oluşumu, tüflü birimlerin ana bileşenini teşkil eden volkan camları ile feldspat mineralinin varlığı ile kontrol edilmiştir. XRD incelemelerinde volkanik birimlerin

ana bileşenini oluşturan volkan camı, opal-CT, simektit ve feldspat mineral birlikteliğinin yanı sıra, feldspat minerali ile simektit minerali arasındaki oransal ters bir ilişkinin varlığı bu mineraller arasında kökensel bir ilişkinin olduğunu desteklemektedir (Şekil 2, 6, 9). Simektitlerin feldspatların bozuşması ile oluşabileceği Millot (1970), Furnes (1975), Chamley (1989), Tucker (1992), Kadir ve Karakaş (2002) tarafından da ifade edilmiştir. Feldspat mineralinin bozuşması ile ortama büyük ölçüde Ca^{+2} getirmiş olmuştur. Yer yer çatlaklarda izlenen karbonat oluşumları bu durumun bir kanıtı olarak gösterilebilir. Ayrıca, ortamın kuraklaşması ve Ca ile sülfat aktivitesinin artması sonucu jips minerali oluşmuştur (Yenişol, 1987).

Sıcak ve kurak bir iklim koşullarında göl suyu içerisindeki volkanik malzemenin bozuşması simektit oluşumunda önemli rol oynamıştır. İnceleme alanında sıcak ve kurak bir iklimi yansıtan dolomit biriminin volkanik birimler üzerinde yer alması da bu görüşü desteklemektedir. Simektit mineralinin sıcak, kurak iklimle ilişkili olup, düşük yağış ve zayıf drenaj şartlarında oluştuğu bilinmektedir (Chamley, 1989). Ayrıca, simektit mineraline birkaç örnekte eşlik eden analsim mineralinin de tuzlu ve alkalın göl ortamlarında oluştuğu, kurak ve yarı kurak iklim şartlarını işaret ettiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Mariner ve Surdam, 1970; Gall ve Hyde, 1989; Hartley ve diğerleri, 1991; Renaut, 1993; Türkmenoğlu ve diğerleri, 1995; Karakaş ve Kadir, 2006). Bölgede kurak iklim şartları sürekliliğini korurken, tektonizmanın artması sonucu hızla derinleşen göl alanındaki farklı derinlik değişimlerine bağlı olarak gelişen oluşumlar bir arada depolanmışlardır. Göl alanındaki derinlik değişimine bağlı olarak depolanma ortamındaki litolojinin değişimi Hardie ve diğerleri, (1978) tarafından yapılan çalışmada da ortaya konmuştur. İnceleme alanındaki gözenekli ve geçirimli volkanik birimler üzerinde etkili olan sular tüflü birimleri yıkayarak çözünmelerine neden olmuştur. Simektit oluşumu volkan camlarının hidrolizi ve feldspat mineralinin bozuşması şeklinde gelişmiştir. SEM incele-

melerinde, genellikle simektit mineralinin volkan camlarının erime boşlukları ile kırık ve çatlakları boyunca gelişen yüzeylerde izlenmiş olmaları da simektit mineralinin oluşumunun su hareketi ile serbestleşen iyonların etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, simektit oluşumunu takip eden evrelerde göl suyunun Na, Al ve K iyonları zenginleşmesi ve pH'nin artışına bağlı olarak analsim oluşumu gerçekleşmiştir (Gall ve Hyde, 1989; Stamatakis, 1989; Hartley ve diğerleri, 1991, Karakaş ve Kadir, 2006). Bozuşmuş tüf örneklerinde simektit mineraline eşlik eden illit minerali biyotitin kil boyu fraksiyonundan türemiştir (Bayhan ve Yalçın, 1990; Gümüşer ve Yalçın, 1998). Buna karşın, çamurtaşı örneklerindeki illit minerali ise detritik olarak göl alanına getirilmiştir.

Sonuç olarak, simektit mineralinin oluşumu, volkanik ve piroklastik kayaçların ana bileşenini teşkil eden volkan camları ile feldspat mineralinin varlığı ile kontrol edilmiştir. Sıcak ve kurak bir iklim koşullarında göl suyu içerisindeki volkanik malzemenin bozunması simektit oluşumunda önemli rol oynamıştır. Simektit oluşumu volkan camlarının hidrolizi ve feldspat mineralinin bozuşması şeklinde gelişmiştir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, TÜBİTAK Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu tarafından 102Y137 no'lu ve Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü'nce 2003 07 45 014 no'lu projeler çerçevesinde desteklenmiş olup, 3 cü yazarın Yüksek Lisans çalışmasının bir bölümüdür.

Yazarlar, paleontolojik çalışmalara katkıda bulunan Prof. Dr. Güler Taner'e (AÜ), polen analizlerini gerçekleştiren Zühtü Batı'ya (TPAO), memelileri tayin eden Dr. Gerçek Saraç'a (MTA) ve makalenin olgunlaşmasında yapıcı eleştirileri ile katkıda bulunan Prof. Dr. Asuman Türkmenoğlu (ODTÜ) ve Prof. Dr. Emel Bayhan'a (HÜ) teşekkür ederler.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Batı, Z. 2004. Sözlü Görüşme. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı.
- Bayhan, E. ve Yalçın, H. 1990. Burdur gölü çevresindeki Üst Kretase-Tersiyer yaşlı sedimanter istifin tüm kayaç ve kil mineralojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 117, 73- 87.
- Bellanca, A., Karakaş, Z., Neri, R. ve Varol, B. 1993. Sedimentology and isotope geochemistry of lacustrine dolomite-evaporite deposits and associated clays (Neogene, Turkey): environmental implication. *Mineralogica et Petrographica Acta*, 36, 245-264.
- Besbelli, A. ve Varol, B. 2002. Tekke volkanitlerinde hidrotermal alterasyon ürünü kil mineralleşmeleri (Çubuk, Ankara KD). *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 125, 121 -137.
- Bilgin, H. 1972. Eskişehir ili kil imkânlarının genel ekonomik prospeksiyon raporu. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 4708, 38s. Ankara (yayımlanmamış).*
- Boyraz, S. 2004. Mülk-Demirci yöresi (Eskişehir-Sivrihisar) Neojen (Üst Miyosen-Pliyosen) birimlerinin kil mineralojisi. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 85s, Ankara (yayımlanmamış).*
- Brelie, V.G. 1956. Sivrihisar ve Polatlı bölgesinde yapılan bir linyit prospeksiyonu hakkında rapor. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 2437, Ankara (yayımlanmamış).*
- Brindley, G. W. 1980. Quantitative X-Ray Mineral Analysis of Clays. In: Brindley, G. W. ve Brown, G (ed). *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification. Monograph 5, Mineralogical Society, London, 411-438.*
- Chamley, H. 1989. Clay formation through weathering. In: Chamley, H. (ed.). *Clay Sedimentology, Springer Verlag, New York, 21-50.*
- Çoban, F. 1993. Kayakent (Eskişehir) yöresinin jeolojisi ve bölgedeki tabakalı sepiyolitlerin mineralojik incelemesi. *A.Suat Erk Jeoloji Sempozyumu, 2-5 Eylül 1991, Ankara, 283-289.*
- Ece, Ö.I. ve Çoban, F. 1990. Origin and significance of the sepiolite beds and nodules in the Miocene lacustrine basin, Eskişehir, Turkey. In: Savaşçın, M. Y. ve Eronat, A. H. (ed). *International Earth Sciences Congresson Aegean Regions Proceedings I, 234-245.*
- Erol, O. 1955. "W. Weingart 56/2, 56/4 (Sivrihisar) ve 57/1, 57/3(Ankara) paftalarının jeolojik haritası hakkında raporu"na ait korelasyon revizyonu raporu. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 2473, Ankara (yayımlanmamış).*
- Furnes, H. 1975. Experimental palagonization of basaltic glasses of varied composition. *Contributions to Mineralogy and Petrology, 50, 105-113.*
- Gall, Q. ve Hyde, R. 1989. Analcime in lake and lake-margin sediments of the Carboniferous Rocky Brook Formation, Western Newfoundland, Canada. *Sedimentology, 36, 875-887.*
- Gençoğlu, H. 1996. Eskişehir-Sivrihisar-Oğlakçı Köyü sepiyolit sahasının ait maden jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9858, 33s. Ankara (yayımlanmamış).*
- _____, İrkeç, T. Güngör, N., Demirhan, M. ve Çokyaman, S. 1992. Lithofacial features of the Upper Sakarya section of central Anatolian Neogene basin (Sivrihisar-Günyüzü-Çeltik) and the sepiolite occurrences. 1st. *International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, 13-16 October 1992, Adana, 322-323.*
- _____, ve _____, 1994. Ankara-Polatlı-Türk-taciri sahasının maden jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9487, 253s. Ankara (yayımlanmamış).*
- Gözler, M.Z., Cevher F., Ergül E. ve Asutay. H.J. 1996. Orta Sakarya ve Güneyinin jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9973, 87s. Ankara (yayımlanmamış).*

- Grim, R.E. ve Güven, N. 1978. Bentonites, geology, mineralogy, properties and uses, Elsevier, Amsterdam, 256p.
- Gümüşer, G. ve Yalçın, H. 1998. Kelkit vadisi kuzeyindeki (Reşadiye-Yazıcık-Bereketli /Tokat) bentonit yataklarının mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi. *Yerbilimleri*, 20, 91-110.
- Gündoğdu, M.N. 1982. Neojen yaşlı Bigadiç sedimanter baseninin jeolojik-mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, 386s. (yayımlanmamış).
- Hardie, L. A., Smooth, J.P. ve Eugster, H.P. 1978. Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach. In Matter, A. ve Tucker M.E (ed). Special Publication number 2 of the International Association of Sedimentologists, 7-41.
- Hartley, A., Flint, S. ve Turner, P. 1991. Analcime: a characteristic authigenic phase of Andean alluvium, northern Chile. *Geological Journal*, 26, 189-202.
- Jones, J.B. ve Segnit, E.R. 1971. The nature of opal: I.nomenclature and constituent phases. *Journal of the Geological Society of Australia*, 18,57-68.
- Kadir, S. ve Karakaş, Z. 2002. Mineralogy, chemistry and origin of halloysite, kaolinite and smectite from Miocene ignimbrites, Konya, Turkey. *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie Abhandlungen*, 177, 113-132.
- Karakaş, Z. 1992. Ballıhisar-İlyaspaşa (Sivrihisar-Eskişehir güneyi) yöresinin jeolojik, petrografik ve mineralojik incelenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 184s, Ankara (yayımlanmamış).
- _____ ve Varol, B. 1993. Sivrihisar-İlyaspaşa civarı sepiyolitlerinin elektron mikroskop incelemesi, A.Suat Erk Jeoloji Sempozyumu, 2-5 Eylül 1991, Ankara, 303-310.
- Karakaş, Z. ve Varol, B. 1994. Sivrihisar Neojen basenindeki gösel dolomitlerin petrografisi ve oluşum koşullarının duraylı izotoplar (18O; 13C) yardımıyla yorumlanması. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 116, 81-96.
- _____ ve Kadir, S. 2006. Occurrence and origin of analcime in a Neogene volcano-sedimentary lacustrine environment, Beypazarı-Çayırhan basin, Ankara, Turkey. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie Abhandlungen*, 182/3, 253-264.
- Kıbar, M., Gökten, E., Lünel, T. ve Kadioğlu, Y.K. 1992. Sivrihisar intrüzif kompleksi ve civarının jeoloji ve petrografisi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 7, 78-86.
- Kulaksız, S. 1981. Sivrihisar Kuzeybatı yöresinin jeolojisi. *Yerbilimleri*, 8,103-124, Beytepe, Ankara.
- Mariner, R.H. ve Surdam, R.C. 1970. Alkalinity and formation of zeolites in saline alkaline lakes. *Science*, 170, 977-979.
- Millot, G. 1970. *Geology of clays*. Translated by W.R Farrand and H. Paquet. Springer Verlag, New York, Berlin, 429p.
- Moore, D. ve Reynolds, C. 1989. *X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*. Oxford University Press, 332p.
- Özbaş, Ü. 2001. Mineralogic and geochemical investigation of zeolite and related minerals of Mülk-Oğlakçı Region, Sivrihisar. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Yök Dökümantasyon Merkezi Rapor No:109623, Ankara (yayımlanmamış).
- Özen, H. ve Sarıfakioğlu, E. 2003. Sivrihisar (Eskişehir) dolayındaki volkanitlerin petrografik ve petrolojik özellikleri. 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı,14-20 Nisan 2003, Ankara, 20-21.
- Özkan, O.T. ve Erkalfa, H. 1977. Türkiye'de ticari bentonit kellerin özellikleri ve kullanım alanlarının

- tesbiti. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Proje No: 04-7652,138s, Ankara (yayımlanmamış).
- Paterson, E. ve Swaffield, R. 1987. Thermal analysis. In: Wilson, M.J. (ed). A handbook of determinative methods in clay mineralogy, Blackie, 99-133.
- Renaut, R.W. 1993. Zeolitic diagenesis of Late Quaternary fluviolacustrine sediments and associated calcrete formation in the Lake Bogoria Basin, Kenya Rift Valley. *Sedimentology*, 40, 271-301.
- Saraç, G. 2004. Sözlü Görüşme. Maden Tetkik Arama Enstitüsü.
- Schimid, R. 1981. Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the international union of geological sciences subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geology*, 9, 41-43.
- Stamatakis, M.G. 1989. Authigenic silicates and silica polymorphs in the Miocene saline-alkaline deposits of the Karlovassi basin, Samos, Greece. *Economic Geology*, 84, 788-798.
- Streckeisen, A. L. 1976. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*, H.1, 1-15.
- _____. 1979. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melitic rocks - recommendations and suggestions of the international union of geological sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology*, 7, 331-335.
- Taner, G. 2004. Sözlü Görüşme. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
- Temel, A. 2001. Post-collisional Miocene alkaline volcanism in the Oğlakçı Region, Turkey: Petrology and geochemistry. *International Geology Review*, 43, 640-660.
- Türkmenoğlu, A., Koçyiğit, A. ve Özalp, T. 1995. Kalecik-Hasayaz havzasındaki Tersiyer göl sedimanlarının jeolojisi ve kil mineralojisi. VII. Ulusal kil sempozyumu, 27-30 Eylül 1995, Ankara, 55-63.
- Tucker, M. E. 1992. *Sedimentary Petrology*. Blackwell, Oxford, 260p.
- Umut, M., Gedik, İ., Güner E., Saçlı, L. ve Şen, A.M. 1991. Çifteler-Holanta (Eskişehir) Çeltik (Konya) ve dolayının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Raporu No. 9204, 39s, Ankara (yayımlanmamış).
- Ünlü, T., Gençoğlu, H., İrkeç, T. ve Bayhan H., 1995. Turkish sepiolite deposits: A Review. In: Srivastava Rajesh K. ve Chandra, R. (ed). *Magmatism in relation to diverse tectonic settings*, Oxford and IBH, 225-260.
- Weingart, W. 1954. 56/2, 56/4 (Sivrihisar) ve 57/1, 57/3 (Ankara) paftalarının jeolojik haritası hakkında rapor. Maden Tetkik ve Arama Raporu No: 2248, Ankara (yayımlanmamış).
- Yeniyol, M. 1987. Enez bentonitinin jeolojisi, mineralojisi ve oluşumu. III. Ulusal Kil Sempozyumu, 21-27 Eylül 1987, İstanbul, 123-137.
- _____. 1992. Yenidoğan (Sivrihisar) sepiolit yatağının jeolojisi, mineralojisi ve oluşumu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 114, 71-85.
- _____. 1993. Sivrihisar'da (Eskişehir) sedimanter-diyajenetik oluşumlu yeni bir lületaşı türü. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 115, 81-90.